嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉营养成分和风味特性的影响[1]

王永强[1,2] 张晓羊[1] 刘建成[1,3] 聂存喜[1] 张凡凡[1] 蒋粒薪[3] 马贵军[3] 张文举[1*]

（1.石河子大学动物科技学院，石河子 832000；2.河南科技学院动物科技学院，新乡 453003；

3.新疆天康畜牧生物技术股份有限公司生物添加剂分公司，乌鲁木齐 830011）

摘 要：本试验旨在研究嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉营养成分和风味特性的影响。试验选取 360 只 21 日龄(449.66±6.01) g 的健康黄羽肉鸡公鸡，随机分为 6 个组，每组 6 个重复，对照组（Ⅰ组、Ⅲ组和Ⅴ组）饲粮中分别添加 3%、6%和 9%棉籽粕，试验组（Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅵ组）饲粮中分别添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕，进行 42 d 的饲养试验后从每组随机选取 6 只鸡屠宰、采样，并对样本的常规营养成分、脂肪酸、氨基酸及肌苷酸含量等指标进行测定和分析。结果表明：1）与对照组相比，饲粮添加发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉中常规营养成分含量均无显著影响（$P>0.05$）；2）Ⅱ组肌肉中亚油酸含量比Ⅰ组显著提高了 13.91%（$P<0.05$），Ⅳ组肌肉中亚麻酸含量比Ⅲ组显著提高了 21.51%（$P<0.05$），Ⅱ组、Ⅳ组肌肉中多不饱和脂肪酸含量分别比Ⅰ组、Ⅲ组显著提高了 14.22%和 9.04%（$P<0.05$）；3）Ⅵ组肌肉中总游离氨基酸含量较Ⅴ组显著提高了 13.85%（$P<0.05$）；Ⅳ组、Ⅵ组肌肉中风味氨基酸（FAA）含量较Ⅲ组、Ⅴ组分别显著提高了 6.04%和 9.27%（$P<0.05$），Ⅳ组、Ⅵ组肌肉中 FAA 分别比Ⅱ组提高了 5.55%和 5.39%（$P<0.05$）；4）Ⅵ组肌肉中肌苷酸含量较Ⅴ组显著提高了 10.81%（$P<0.05$），其他各组相比均无显著差异（$P>0.05$）。由以上结果可知，饲粮中添加发酵棉籽粕可以改善黄羽肉鸡肌肉的风味特性，按 6%或 9%比例添加效果较好。

关键词：嗜酸乳杆菌；发酵棉籽粕；营养；风味；黄羽肉鸡

中图分类号：S816

随着畜牧业快速发展和人类生活水平的不断提高，肉、蛋、奶等动物性食品在人们日常饮食中的比重也日益增加，但大规模集约化养殖的推广间接导致了动物性食品营养品质和口感风味的下降，同时动物性食品安全等问题也日益凸显，因此如何生产既安全又优质的畜禽产品成为当前研究的热点问题之一。众多研究表明，益生菌和益生菌发酵饲料有着独特的营

收稿日期：2017－06－30

基金项目：国家自然科学基金项目（31360564）；新疆维吾尔族自治区研究生科研创新项目（XJGRI2014058）

作者简介：王永强（1978－），男，河南济源人，博士研究生，研究方向为动物营养与饲料资源开发利用。E-mail: netwyq@163.com

*通信作者：张文举，教授，博士生导师，E-mail: zhangwj1022@sina.com

养生理特性[1-2]，其在畜禽生产中的应用可使畜禽的生长性能、屠宰性能、消化代谢、肉品质及免疫等均有不同程度的改善，是抗生素的有效替代品，这为解决以上问题提供了新的途径[3-5]。发酵棉籽粕是以棉籽粕作为主要发酵底物，利用益生菌对棉籽粕进行固态发酵制作而成的一种新型生物蛋白饲料。目前，有关饲粮添加发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉营养成分及风味特性的影响研究报道较少。国内外众多研究表明畜禽肉的肌内脂肪、脂肪酸、氨基酸及肌苷酸等是与肌肉营养特性密切相关的重要评价指标[6-7]，因此本研究以上述指标为主要考察目标，研究嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉营养成分及风味特性的影响，为新型功能性蛋白饲料开发和优质畜禽肉产品生产提供重要的参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

发酵菌种：高产酸嗜酸乳杆菌（J-5-1409），由石河子大学动物科技学院动物营养实验室选育和保存。

饲料原料：棉籽粕、麸皮等饲料原料均由新疆天康畜牧生物技术股份有限公司提供。

1.2　嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕的制备

嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕的制备工艺参照吴妍妍等[8]优化后的发酵工艺，略有调整。发酵底物使用棉籽粕和麸皮按 9∶1 的比例混合制备，将底物水分含量调节至 40%并充分混匀后进行高温灭菌（0.056 MPa、121 ℃、30 min），冷却至室温后在底物中接种 J-5-1409 二级菌种菌液（活菌数 2.52×10^8 CFU/mL，接种量 6%），将饲料搅拌均匀、压实并用塑料保鲜膜密封，置于隔水式电热恒温培养箱（HPX-962MBE）内进行固态发酵（37.5 ℃、48 h），发酵结束后将发酵棉籽粕取出，在烘箱中 40 ℃烘干，装袋备用，棉籽粕在发酵前后的主要营养成分变化见表 1。

表 1　棉籽粕在发酵前后的主要营养成分变化（干物质基础）

Table 1　Changes of mail nutrients of cottonseed meal before and after fermentation (DM basis)

项目 Items	棉籽粕 Cottonseed meal	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal
粗蛋白质 CP/%	39.79	42.49
粗脂肪 EE/%	3.64	3.88
粗纤维 CF/%	13.86	11.67

粗灰分 Ash/%	4.28	4.31
钙 Ca/%	0.38	0.39
磷 P/%	0.93	0.96
游离棉酚 FG/(mg/kg)	585.29	152.33
pH	6.13	4.65
嗜酸乳杆菌 *Lactobacillus acidophilus*/（CFU/g）		2.20×10^6

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

黄羽肉鸡选择的品种是广西三黄鸡，购自新疆天康畜牧生物技术股份有限公司。按照体重相近原则选取 360 只 21 日龄均重（449.66±6.01） g 的健康黄羽肉鸡公鸡，采用单因素完全随机设计，随机分为 6 个组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。Ⅰ组、Ⅲ组和Ⅴ组为对照组，饲粮中分别添加 3%、6%和 9%未发酵棉籽粕；Ⅱ组、Ⅳ组和Ⅵ组为试验组，饲粮中分别添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕。

1.3.2 试验饲粮

试验基础饲粮参照 NY/T 33—2004《鸡饲养标准》和 NRC(1994)肉鸡营养需要标准配制，包括试验前期料（21~42 日龄）和试验后期料（43~63 日龄），各组饲粮组成及营养水平见表 2。

表 2　饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)　　　%

项目 Items	试验前期（21~42 日龄） Early stage of test (21 to 42 days of age)						试验后期（43~64 日龄） Late stage of test (43 to 64 days of age)					
	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ	Ⅵ组 Group Ⅵ	Ⅰ组 Group Ⅰ	Ⅱ组 Group Ⅱ	Ⅲ组 Group Ⅲ	Ⅳ组 Group Ⅳ	Ⅴ组 Group Ⅴ	Ⅵ组 Group Ⅵ
原料 Ingredients												
玉米 Corn	65.76	65.79	65.78	65.80	65.80	65.83	69.15	69.18	69.16	69.18	69.17	69.21
豆粕 Soybean meal	18.84	18.82	15.84	15.83	12.83	12.80	15.25	15.24	12.25	12.25	9.26	9.23
菜籽粕 Rapeseed meal	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
玉米蛋白粉 Corn protein meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
棉籽粕 Cottonseed meal	3.00		6.00		9.00		3.00		6.00		9.00	
发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal		3.00		6.00		9.00		3.00		6.00		9.00
棉籽油 Cottonseed oil	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.22	1.18	1.16	1.17	1.15	1.15	1.14

石粉 Limestone	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]												
代谢能 ME/（MJ/kg)	12.51	12.53	12.54	12.55	12.53	12.54	12.97	12.98	12.94	12.94	12.94	12.95
粗蛋白质 CP	21.32	21.33	21.33	21.34	21.35	21.36	19.12	19.13	19.13	19.14	19.14	19.15
钙 Ca	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.91	0.84	0.85	0.83	0.85	0.83	0.85
有效磷 AP	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
赖氨酸 Lys	1.15	1.13	1.16	1.15	1.15	1.16	0.94	0.94	0.93	0.93	0.94	0.92
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68

[1)] 预混料为试验前期每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets in early stage：赖氨酸 lysine 2.0 g，蛋氨酸 methionine 1.1 g，食盐 NaCl 3 g，胆碱 choline (50%) 1 g，Cu 6 mg，Fe 100 mg，Mn 1 150 mg，Zn 100 mg，Se 0.3 mg，I 0.4 mg，VA 25 mg，VD_3 8 mg，VE 36 mg，VK 3 mg，VB_1 2 mg，VB_2 7.5 mg，VB_6 4.5 mg，VB_{12} 0.02 mg，VB_5 12 mg，烟酸 niacin 50 mg，叶酸 folic acid 1.2 mg，生物素 biotin 0.15 mg。预混料为试验后期每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets in early stage：赖氨酸 lysine 1.5 g，蛋氨酸 methionine 1.0 g，食盐 NaCl 3 g，胆碱 choline (50%) 1 g，Cu 6 mg，Fe 100 mg，Mn 1 150 mg，Zn 100 mg，Se 0.3 mg，I 0.4 mg，VA 25 mg，VD_3 8 mg，VE 36 mg，VK 3 mg，VB_1 2 mg，VB_2 7.5 mg，VB_6 4.5 mg，VB_{12} 0.02 mg，VB_5 12 mg，烟酸 niacin 50 mg，叶酸 folic acid 1.2 mg，生物素 biotin 0.15 mg。

[2)] 粗蛋白质和钙为实测值，其余值为计算值。CP and Ca were measured values, while the others were calculated values.

1.3.3　试验鸡的饲养与管理

所有试验鸡均在同一鸡舍内进行分组饲养，采用双层立体笼养方式饲养，每笼 6 只。按肉鸡标准化饲养管理规程进行为期 42 d 的科学饲养，每天按时加料 3 次，自由采食，自由饮水。

1.4　样本采集与指标测定

于 64 日龄时，从各组中分别随机选取 6 只黄羽肉鸡，参照 GB/T 9695.19—2008 方法分别采集各试验鸡左侧胸肌样本 50~80 g，所有样本经液氮冷冻后于－80 ℃冰箱保存，待测。

1.4.1　肌肉常规营养成分含量的测定

肌肉中水分含量参照 GB/T 9695.15—2008《肉与肉制品水分含量测定方法》中的直接干燥法测定；肌肉中粗蛋白质含量参照 GB/T 5009.5—2010 使用全自动凯氏定氮仪测定（FOSS Kjeltec 8400）；肌肉中粗脂肪含量参照 GB/T 5009.6—2003 的索氏抽提法测定；肌肉中粗灰分含量参照 GB/T 9695.15—2008 测定。

1.4.2　肌肉脂肪酸含量的测定

将适量样品进行冷冻干燥（Telstar/LyoQuest，－40 ℃，7 h），然后在研钵中充分研细，其余步骤参照 GB/T 9695.2—2008《肉与肉制品的脂肪酸测定方法》，测定仪器为 Agilent 7890A GC-5975，脂肪酸通过与标准样品的保留时间来确定，结果用单个脂肪酸的峰面积占总甲酯化脂肪酸峰面积的百分比表示。饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的含量由脂肪酸的组成计算所得。

1.4.3　肌肉氨基酸含量的测定

参照 GB/T 5009.124－2010《食品中氨基酸的测定方法》对肌肉样本进行测定，测定仪器选用全自动氨基酸分析仪（Hitachi L-8900）。

1.4.4　肌肉肌苷酸含量的测定

肌肉中肌苷酸含量的测定参考赵伟等[9]的方法使用高效液相色谱法（HPLC）（Agilent1200)进行测定。

1.5　数据分析

数据利用 SPSS 22.0 软件中的 one-way ANOVA 进行方差分析，不同添加比例的各组试验数据之间使用 Duncan 氏法进行多重比较，同添加比例发酵棉籽粕组与棉籽粕组的试验数据采用 *T* 检验。所有测定数据均以平均值和标准误表示，以 $P<0.05$ 为显著性检验水平。

2　结果与分析

2.1　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉常规营养成分含量的影响

由表 3 可知，饲粮中添加不同比例发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉常规营养成分含量的影响均不显著（*P*>0.05）。添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕的 3 个试验组的水分和粗脂肪含量分别与添加相同比例棉籽粕组相比均呈现上升趋势，但差异不显著（*P*>0.05）。

表 3　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉常规营养成分含量的影响

Table 3　Effects of fermented cottonseed meal on conventional nutrient content in muscle of yellow broilers　　%

项目 Items	处理 Treatments	3%添加量 3% supplementation level	6%添加量 6% supplementation level	9%添加量 9% supplementation level	*P* 值 *P*-value	SEM
水分 Water	棉籽粕 Cottonseed meal	71.88	72.17	72.06	0.78	0.53
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	72.27	72.37	72.76	0.31	0.39
	P 值 *P*-value	0.60	0.84	0.42		
	SEM	0.55	0.69	0.44		
粗蛋白质 CP	棉籽粕 Cottonseed meal	24.85	24.25	24.44	0.92	0.60
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	24.16	23.81	23.74	0.53	0.31
	P 值 *P*-value	0.82	0.73	0.80		
	SEM	0.64	0.75	0.27		
粗脂肪 EE	棉籽粕 Cottonseed meal	2.30	2.30	2.36	0.89	0.18
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	2.42	2.40	2.39	0.58	0.10
	P 值 *P*-value	0.31	0.71	0.66		
	SEM	0.24	0.17	0.10		
粗灰分 Ash	棉籽粕 Cottonseed meal	0.96	1.29	1.13	0.11	0.09

发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.14	1.32	1.11	0.38	0.08
P 值 *P*-value	0.31	0.61	0.90		
SEM	0.08	0.11	0.13		

同行数据肩标字母不同表示差异显著（*P*<0.05），相同字母或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。同列数据肩标*表示差异显著（*P*<0.05），无*表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference （*P*<0.05）, while with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference （*P*>0.05）. In the same column, values with * superscripts mean significant difference （*P*<0.05）, while with no * mean no significant difference (*P*>0.05）. The same as below.

2.2 发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉脂肪酸含量的影响

由表 4 可知，从脂肪酸的综合指标可以看出，发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉中多不饱和脂肪酸（PUFA）的影响最为显著。添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕的 3 个试验组的肌肉 PUFA 含量比添加相同比例棉籽粕组分别增加了 14.22%（*P*<0.05）、9.04%（*P*<0.05）和 3.48%（*P*>0.05）；另外，添加不同比例棉籽粕的 3 组之间 PUFA 含量也存在显著差异（*P*<0.05），其中 9%添加组的 PUFA 含量较 3%添加组显著提高了 17.95%（*P*<0.05），但添加不同比例发酵棉籽粕的 3 个试验组之间的 PUFA 含量以 9%添加组最高，其次是 6%添加组，添加 3%发酵棉籽粕组最低，但 3 组之间均无显著差异（*P*>0.05）。

表 4　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉脂肪酸含量的影响

Table 4　Effects of fermented cottonseed meal on fatty acid contents in muscle of yellow broilers　　%

项目 Items	处理 Treatments	3%添加量 3% supplementation level	6%添加量 6% supplementation level	9%添加量 9% supplementation level	*P* 值 *P*-value	SEM
软脂酸 C16:0	棉籽粕 Cottonseed meal	25.92	26.42	27.60	0.28	0.19
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	28.20	26.14	25.03	0.10	0.39
	P 值 *P*-value	0.11	0.80	0.69		
	SEM	0.56	0.41	0.66		
硬脂酸 C18:0	棉籽粕 Cottonseed meal	6.34[b]	7.64[a]	6.66[ab]	0.09	0.25
	发酵棉籽粕 Fermented	6.76	7.42	7.19*	0.33	0.17

	cottonseed meal					
	P 值 *P*-value	0.47	0.91	0.05		
	SEM	0.26	0.36	0.15		
棕榈油酸 C16:1	棉籽粕 Cottonseed meal	1.87	2.26	2.30	0.28	0.11
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	2.95*	2.53	2.48	0.26	0.11
	P 值 *P*-value	0.02	0.25	0.60		
	SEM	0.15	0.1	0.15		
油酸 C18:1	棉籽粕 Cottonseed meal	44.69*	39.68	41.47	0.14	0.99
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	37.92	38.33	39.46	0.86	1.15
	P 值 *P*-value	0.02	0.81	0.54		
	SEM	0.83	1.49	1.50		
亚油酸 C18:2	棉籽粕 Cottonseed meal	20.34	22.07	24.05	0.09	0.63
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	23.17*	23.95	24.82	0.49	0.53
	P 值 *P*-value	0.05	0.19	0.64		
	SEM	0.49	0.86	0.75		
亚麻酸 C18:3	棉籽粕 Cottonseed meal	0.83	0.93	0.92	0.39	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.01	1.13*	1.02	0.15	0.02
	P 值 *P*-value	0.09	0.03	0.13		
	SEM	0.04	0.03	0.03		
饱和脂肪酸 SFA	棉籽粕 Cottonseed meal	32.26[b]	34.06[ab]	34.26[a]	0.10	0.39
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	34.96	33.56	32.23	0.26	0.61
	P 值 *P*-value	0.09	0.85	0.51		
	SEM	0.44	0.73	0.68		
单不饱和脂肪酸 MUFA	棉籽粕 Cottonseed meal	46.57	41.94	43.77	0.18	0.98

	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	40.86	40.86	41.94	0.90	1.09
	P 值 *P*-value	0.07	0.88	0.54		
	SEM	0.83	1.52	1.37		
多不饱和脂肪酸 PUFA	棉籽粕 Cottonseed meal	21.17[b]	23.00[ab]	24.97[a]	0.07	0.61
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	24.18*	25.08*	25.84	0.47	0.52
	P 值 *P*-value	0.03	0.05	0.59		
	SEM	0.46	0.34	0.73		
不饱和脂肪酸 UFA	棉籽粕 Cottonseed meal	67.74[ab]*	64.94[b]	68.74[a]	0.10	0.39
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	65.04	65.94	67.77	0.26	0.61
	P 值 *P*-value	0.04	0.85	0.51		
	SEM	0.44	0.73	0.68		
不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸 UFA/SFA	棉籽粕 Cottonseed meal	2.10*	1.91	2.01	0.10	0.04
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.86	1.96	2.11	0.26	0.06
	P 值 *P*-value	0.03	0.55	0.56		
	SEM	0.04	0.07	0.07		

2.3 发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉氨基酸含量的影响

由表 5 可知，饲粮添加不同比例发酵棉籽粕对 64 日龄黄羽肉鸡肌肉中氨基酸含量改善作用显著的有天冬氨酸（Asp）、谷氨酸（Glu）、赖氨酸（Lys）和精氨酸（Arg），其中 Asp 和 Glu 是主要的风味氨基酸（FAA）。就 Asp 含量而言，添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕组分别较添加同比例棉籽粕组分别提高了 2.86%（*P*>0.05）、5.14%（*P*>0.05）和 10.68%（*P*<0.05）；就 Glu 含量而言，添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕组分别较添加同比例棉籽粕组提高了 1.83%（*P*>0.05）、7.36%（*P*<0.05）和 7.34%（*P*<0.05），另外，添加发酵棉籽粕的 3 个试验组之间也有显著的差异（*P*<0.05），其中 6%添加组与 9%添加组分别比 3%添加组提高了 4.79%和 5.09%（*P*<0.05），但 6%添加组与 9%添加组之间无显著差异（*P*>0.05）；就甘氨酸（Gly）含量而言，添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕组分别较添加同比例棉籽粕组提

高了 2.06%、3.77%和 12.90%，但差异均不显著（P>0.05），从添加棉籽粕的 3 组之间的差异可以看出 6%添加组显著高于 9%添加组（P<0.05），但与 3%添加组的差异不显著（P>0.05）；就 Lys 含量而言，添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕组分别与添加同比例棉籽粕组相比提高了 5.39%（P>0.05）、9.76%（P<0.05）和 7.54%（P<0.05），其中添加 6%发酵棉籽粕组的 Lys 含量最高，但其与添加 3%和 9%发酵棉籽粕组相比差异不显著（P>0.05）；就 Arg 含量而言，添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕组分别与添加同比例棉籽粕组相比提高了 5.30%（P>0.05）、4.79%（P>0.05）和 13.10%（P<0.05），添加发酵棉籽粕的 3 个组之间以 9%添加组的 Arg 含量最高，但其与 3%添加组和 6%添加组相比无显著差异（P<0.05）；就总游离氨基酸（TAA）含量而言，添加 3%、6%和 9%发酵棉籽粕组分别较添加同比例棉籽粕组提高了 3.91%（P>0.05）、7.60%（P>0.05）和 13.85%（P<0.05）；就 FAA 含量而言，添加 3%发酵棉籽粕组较添加 3%棉籽粕组提高了 2.04%，差异不显著（P>0.05），但添加 6%发酵棉籽粕组和 9%发酵棉籽粕组的肌肉 FAA 含量分别比添加同比例棉籽粕组提高了 6.04%和 9.27%（P<0.05），从 3 个添加不同比例发酵棉籽粕的组间差异可以看出，6%添加组和 9%添加组分别比 3%添加组提高了 5.55%和 5.39%（P<0.05），但 6%添加组与 9%添加组间无显著差异（P>0.05）。

表 5　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉氨基酸含量的影响

Table 5　Effects of fermented cottonseed meal on amino acid contents in muscle of yellow broilers　　%

项目 Items	处理 Treatments	3%添加量 3% supplementation level	6%添加量 6% supplementation level	9%添加量 9% supplementation level	P 值 P-value	SEM
天冬氨酸 Asp	棉籽粕 Cottonseed meal	2.10	2.14	2.06	0.44	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	2.16	2.25	2.28*	0.14	0.02
	P 值 P-value	0.48	0.06	0.02		
	SEM	0.04	0.02	0.03		
苏氨酸 Thr	棉籽粕 Cottonseed meal	1.17	1.15	1.05	0.24	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.18^{ab}	1.35^{a}	1.12^{b}	0.06	0.03
	P 值 P-value	0.81	0.12	0.10		
	SEM	0.03	0.15	0.02		

	棉籽粕 Cottonseed meal	0.99	0.94	0.82	0.24	0.04
丝氨酸 Ser	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	0.98	0.97	0.97	0.97	0.03
	P 值 *P*-value	0.93	0.70	0.24		
	SEM	0.04	0.03	0.05		
	棉籽粕 Cottonseed meal	3.28	3.26	3.27	0.96	0.03
谷氨酸 Glu	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	3.34[b]	3.50[a]*	3.51[a]*	0.04	0.02
	P 值 *P*-value	0.24	0.04	0.04		
	SEM	0.02	0.04	0.04		
	棉籽粕 Cottonseed meal	0.97[ab]	1.06[a]	0.93[b]	0.04	0.02
甘氨酸 Gly	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	0.99	1.10	1.05	0.34	0.03
	P 值 *P*-value	0.72	0.46	0.16		
	SEM	0.02	0.03	0.03		
	棉籽粕 Cottonseed meal	1.42[a]	1.37[ab]	1.26[b]	0.09	0.02
丙氨酸 Ala	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.40	1.36	1.42	0.56	0.02
	P 值 *P*-value	0.56	0.44	0.08		
	SEM	0.02	0.02	0.03		
	棉籽粕 Cottonseed meal	0.29	0.29	0.22	0.17	0.01
半胱氨酸 Cys	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	0.33	0.33	0.39	0.73	0.03
	P 值 *P*-value	0.38	0.49	0.12		
	SEM	0.02	0.03	0.04		
缬氨酸 Val	棉籽粕 Cottonseed meal	1.14	1.13	1.07	0.50	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.17	1.24	1.22	0.70	0.03

	P 值 *P*-value	0.67	0.29	0.08		
	SEM	0.03	0.04	0.03		
蛋氨酸 Met	棉籽粕 Cottonseed meal	0.55	0.60	0.49	0.18	0.02
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	0.58	0.55	0.56	0.93	0.04
	P 值 *P*-value	0.48	0.29	0.49		
	SEM	0.02	0.04	0.05		
异亮氨酸 Ile	棉籽粕 Cottonseed meal	1.07	1.05	1.00	0.29	0.02
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.14	1.21	1.12	0.65	0.04
	P 值 *P*-value	0.35	0.45	0.14		
	SEM	0.03	0.03	0.04		
亮氨酸 Leu	棉籽粕 Cottonseed meal	1.88	1.86	1.78	0.25	0.02
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	2.00	1.99	1.97	0.95	0.03
	P 值 *P*-value	0.09	0.13	0.09		
	SEM	0.03	0.04	0.05		
酪氨酸 Tyr	棉籽粕 Cottonseed meal	0.79	0.76	0.69	0.21	0.02
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	0.85	0.90	0.81	0.66	0.04
	P 值 *P*-value	0.46	0.11	0.15		
	SEM	0.04	0.03	0.03		
苯丙氨酸 Phe	棉籽粕 Cottonseed meal	0.98	0.99	0.86	0.23	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.03	1.12	1.08	0.66	0.04
	P 值 *P*-value	0.33	0.20	0.09		
	SEM	0.02	0.05	0.05		
赖氨酸 Lys	棉籽粕 Cottonseed meal	2.04	2.05	1.99	0.31	0.01
	发酵棉籽粕	2.15	2.25*	2.14*	0.11	0.03

	Fermented cottonseed meal					
	P 值 *P*-value	0.11	0.02	0.05		
	SEM	0.03	0.03	0.03		
组氨酸 His	棉籽粕 Cottonseed meal	0.90	0.88	0.77	0.24	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	0.89	0.91	0.90	0.03	0.02
	P 值 *P*-value	0.74	0.43	0.16		
	SEM	0.02	0.02	0.05		
精氨酸 Arg	棉籽粕 Cottonseed meal	1.51	1.46	1.45	0.40	0.02
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	1.59	1.53	1.64*	0.38	0.03
	P 值 *P*-value	0.21	0.26	0.05		
	SEM	0.03	0.03	0.03		
脯氨酸 Pro	棉籽粕 Cottonseed meal	0.54	0.56	0.43	0.21	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	0.55	0.61	0.55	0.67	0.03
	P 值 *P*-value	0.94	0.60	0.06		
	SEM	0.04	0.05	0.02		
总游离氨基酸 TAA	棉籽粕 Cottonseed meal	21.48	21.57	20.14	0.19	0.31
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	22.32	23.21	22.93*	0.47	0.28
	P 值 *P*-value	0.28	0.06	0.03		
	SEM	0.29	0.32	0.42		
风味氨基酸 FAA	棉籽粕 Cottonseed meal	6.36	6.46	6.26	0.21	0.03
	发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	6.49^{b}	6.85^{a}*	6.84^{a}*	0.05	0.05
	P 值 *P*-value	0.17	0.04	0.03		
	SEM	0.04	0.33	0.06		

风味氨基酸=天冬氨酸+谷氨酸+甘氨酸。FAA=Asp+Glu+Gly.

2.4　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉肌苷酸含量的影响

由表 6 可知，饲粮添加发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉中肌苷酸的含量会产生不同程度的影响。其中，添加 9%发酵棉籽粕组肌肉肌苷酸含量较添加 9%棉籽粕组显著提高了 10.81%（P<0.05），添加 6%发酵棉籽粕组较添加同比例棉籽粕组提高了 7.45%，但差异不显著（P>0.05）；添加不同比例发酵棉籽粕的 3 个组之间肌肉肌苷酸含量无显著差异（P>0.05），但可看出 9%添加组的肌苷酸含量最高，其次是 6%添加组，3%添加组最低。

表 6　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉肌苷酸含量的影响

Table 6　Effects of fermented cottonseed meal on inosinic acid content in muscle of yellow broilers

项目 Items	3%添加量 3% supplementation level	6%添加量 6% supplementation level	9%添加量 9% supplementation level	*P* 值 *P*-value	SEM
棉籽粕 Cottonseed meal	2.67	2.55	2.59	0.63	0.70
发酵棉籽粕 Fermented cottonseed meal	2.59	2.74	2.87*	0.43	0.44
P 值 *P*-value	0.73	0.24	0.05		
SEM	0.06	0.13	0.23		

3　讨　论

3.1　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉常规营养成分含量的影响

肉中的常规营养成分与肉的品质及风味紧密相关[10]，尤其是肉中的粗脂肪含量在近年来备受国内外研究者的关注，研究表明肌内脂肪可直接影响肉品质的优劣，包括嫩度、风味和多汁性[11-14]。肌内脂肪不仅是畜禽肌肉滋润多汁的物理因子之一，也是产生风味化合物的重要前体物质，因此将其作为重要的肉品质评价指标之一。目前，已有研究证明乳酸杆菌能够显著影响机体脂肪酸的代谢，从而提高脂肪的沉积和分布并降低猪肉中脂肪的氧化，同时可以提高猪肉中肌内脂肪的含量[15]。李菊等[16]发现在肉鸡饲粮中添加乳酸菌进行饲养对肉鸡胸肌营养成分的影响均不显著，但肉鸡肌肉的水分及脂肪含量有升高趋势；米春桃等[17]研究发现饲喂发酵饲粮的育肥猪的肌内脂肪含量高于对照组，但差异并不显著；马青竹[18]和张娜娜等[19]的研究也证实饲喂益生菌发酵饲粮可显著促进肌内脂肪的沉积从而改善了猪肉的风味；黄金华等[20]研究发现添加复合益生菌可显著提高肉鸡肌肉中粗蛋白质和粗灰分的含量，但肌肉中粗脂肪和胆固醇的含量却显著降低。本试验表明饲粮添加发酵棉籽粕对黄羽肉鸡的肌肉常规营养成分含量的影响不显著，肌肉中的水分和粗脂肪含量均有升高趋势，但粗蛋白质含量有下降的趋势，该结果与李菊等[16]和米春桃等[17]研究结果基本一致，但与

黄金华等[20]的研究结果存在差异，这可能与试验鸡的品种、分组、试验饲粮调配和饲料发酵后的复杂代谢产物等多方面原因有关。

3.2　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉脂肪酸含量的影响

脂肪酸是评价肉的品质风味的重要指标之一，肌肉中的脂肪酸组成对脂肪组织的硬度及肌肉的氧化稳定性有着决定性的作用，因而，肌肉中脂肪酸的含量及组成会影响肌肉的口感、风味以及色度等。脂肪酸包括饱和脂肪酸（SFA）和不饱和脂肪酸（UFA），其中，UFA 又包括单不饱和脂肪酸（MUFA）和 PUFA，PUFA 是决定肉的香味浓郁程度的重要前体物质之一，因此在研究肉品质及其风味特性时对肌肉中脂肪酸的检测必不可少[7]。在众多的脂肪酸中，本研究主要考察了硬脂酸（C18:0）、软脂酸（C16:0）、油酸（C18:1）、棕榈油酸（C16:1）、亚油酸（C18:2）和亚麻酸（C18:3）6 种常规脂肪酸，由于这几种脂肪酸是禽肉中最主要的脂肪酸，含量约占总脂肪酸的 90%~95%[21-22]。研究表明益生菌及其发酵饲粮对动物肌肉中脂肪酸有调控作用，并可改善肉质风味。Endo 等[23]发现将含有乳酸菌、芽胞杆菌和酵母菌的混合益生菌按 3 g/kg 加入肉鸡饲粮中可以显著提高肉鸡肌肉中的 SFA 和 UFA 含量，并使肉鸡肌肉中亚麻酸含量显著提高。李敏等[24]利用含有乳酸杆菌和枯草芽孢杆菌的发酵饲粮饲喂育肥猪，结果发现发酵粮可显著提高猪肉中亚油酸和 PUFA 的含量，但对硬脂酸、软脂酸、油酸含量并无显著影响。马广等[25]研究了复合菌固态发酵全价料对猪肌肉中脂肪酸的影响，发现猪肌肉中的亚油酸、花生四烯酸、二十碳五烯酸、PUFA 含量以及 PUFA/SFA 均显著高于对照组。苏晨曦等[26]研究发现微生物活菌发酵饲粮与常规饲粮组相比可显著提高青脚麻鸡肌肉中的 PUFA 含量，从而改善青脚麻鸡肉品质。Lin 等[27]的研究也发现在猪饲粮中添加 4%的益生菌发酵饲粮可显著提高猪肉中的 MUFA 和 PUFA 含量，另外还不同程度地提高了肌肉中氨基酸的含量且肌肉中无抗生素和重金属残留，表明饲喂益生菌发酵饲粮可显著改善猪肉的风味并提高猪肉的香气，更有利于人体健康，可为人类提供更为安全、健康、营养的风味猪肉。本研究发现饲粮中添加发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉中主要脂肪酸含量有改善作用，尤其是对 PUFA 的改善效果最为显著，这与以上研究结果基本一致。本研究结果说明发酵棉籽粕中的嗜酸乳杆菌及其发酵代谢产物可以直接或间接地参与肉鸡机体内的脂肪酸合成与代谢调控，从而影响肉鸡肌肉中脂肪酸的组成，这对肉鸡肌肉风味的改善具有重要的意义，而发酵棉籽粕对肉鸡肌肉中脂肪酸的调节机理目前尚未见报道，还有待今后更深入地研究。另外从本研究结果也可以看出添加 3%和 6%发酵棉籽粕能有效地改善黄羽肉鸡胸肌的 PUFA 含量，但从添加不同比例发酵棉籽粕的 3 个试验组的 PUFA 结果显示，6%添加组效果又优于 3%添加组。

3.3　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉氨基酸含量的影响

肌肉中氨基酸的种类、含量及组成比例对肌肉的营养价值和风味特性也有着重要的影响，氨基酸是肌肉重要滋味的呈味物和香味的前体物质[28]。众多研究表明，Glu、Asp 和 Gly 是对畜禽肌肉鲜味贡献最大的氨基酸，它们也是肌肉鲜味的基本成分，其中又以 Glu 的鲜味最为显著，其鲜味可达味精的 50 多倍[29]；Asp 和 Glu 在分类上同属酸性氨基酸，对肉的鲜味有着重要的作用[30]；Gly 有独特的甜味，它可使肉色改善，肉的 pH 变小，并使肉中的风味化合物（1,2-乙二硫醇、2-乙基吡嗪、2-乙酰基呋喃和 2,4,5-三甲基噻唑）的含量增加[31]。因此本研究将这 3 种氨基酸做为主要的呈味氨基酸进行考察。目前，已有关于发酵粮对肉中氨基酸含量影响的相关报道，有研究表明饲粮添加复合菌液发酵可提高育肥猪背最长肌中 Glu、Gly、丙氨酸和 Lys 的含量，从而改善猪肉品质[25]；苏晨曦等[26]发现用微生物活菌发酵饲粮饲喂的青脚麻鸡肌肉中氨基酸总量、必需氨基酸及 FAA 优势明显。本研究从黄羽肉鸡肌肉样本中共检测出 17 种游离氨基酸，其中黄羽肉鸡肌肉中 TAA 含量 20.14%~21.57%，FAA 含量 6.49%~6.85%；本研究结果显示饲粮中添加发酵棉籽粕可以改善黄羽肉鸡肌肉中氨基酸的组成，尤其是提高了 FAA 含量，这与以上研究报道结果基本一致。发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉中氨基酸组成的调控和风味的改善可能与发酵棉籽粕的营养特性及其所含益生菌及活性代谢产物促进营养物质被动物高效消化、吸收和利用有关。另外，本研究还发现饲粮中添加 9%发酵棉籽粕比添加同比例棉籽粕可显著提高黄羽肉鸡肌肉中的 TAA 含量，而添加 6%与 9%发酵棉籽粕与添加 3%发酵棉籽粕可以显著提高肌肉中 FAA 的含量。

3.4　发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉肌苷酸含量的影响

肌苷酸已经是国际公认的具有肉品鲜味特性的一种重要的芳香族化合物，它对衡量肉的鲜味优劣具有重要的意义[5,32-33]。肌肉中的肌苷酸可与谷氨酸钠等多种风味物质进行协同作用从而达到增加肉食品鲜味的功效，同时它可以缓冲味觉的作用从而抑制酸味和苦味[34]。李菊等[16]和黄金华等[20]研究证实饲粮中添加益生菌制剂可显著提高肉鸡肌肉肌苷酸的含量，从而改善肉的风味；吕永彪等[35]在肉鸭饲粮中添加乳酸杆菌和芽孢杆菌固态发酵芝麻粕，发现发酵芝麻粕可显著提高肉鸭的肌肉肌苷酸含量。本研究结果表明，饲粮添加发酵棉籽粕可以促进黄羽肉鸡肌肉中的肌苷酸含量的提高，这与李菊等[16]和吕永彪等[35]的研究结果一致；另外，本研究还发现在饲粮中添加 9%的发酵棉籽粕可显著改善肌肉中肌苷酸的含量，说明饲喂发酵棉籽粕可改善黄羽肉鸡肌肉风味特性。益生菌发酵饲粮提高动物肉品风味的机理可能与益生菌发酵饲粮所产生的有益代谢产物及发酵饲粮中的有益微生物对动物消化道内微生物菌群的调控作用有关。

4 结 论

① 饲粮中添加不同比例发酵棉籽粕对黄羽肉鸡肌肉中的水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分等常规营养成分含量的影响均不显著。

② 饲粮中添加发酵棉籽粕可提高黄羽肉鸡肌肉中 PUFA 的含量，其中 3%和 6%添加组改善效果显著。

③ 饲粮中添加发酵棉籽粕可提高黄羽肉鸡肌肉中 TAA 和 FAA 的含量，尤其是提高了 FAA 含量，且添加 6%和 9%发酵棉籽粕的效果较好。

④ 饲粮中添加发酵棉籽粕可提高黄羽肉鸡肌肉中肌苷酸的含量。

参考文献：

[1] MUSA H H,WU S L,ZHU C H,et al.The potential benefits of probiotics in animal production and health[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2009,8(2):313–321.

[2] SEZEN A G.Effects of prebiotics,probiotics and synbiotics upon human and animal health[J].Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi,2013,8(3):248–258.

[3] 宋高杰,李瑞珍,潘耀谦,等.益生菌发酵饲料的优势及其在畜禽生产中的应用[J].中国家禽,2016,38(23):64–67.

[4] 蔡辉益,张姝,邓雪娟,等.生物饲料科技研究与应用[J].动物营养学报,2014,26(10):2911–2923.

[5] 张晓羊,王永强,张文举,等.嗜酸乳杆菌发酵棉籽粕对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(12):3885–3893.

[6] JEREMIAH L E,DUGAN M E R,AALHUS J L,et al.Assessment of the relationship between chemical components and palatability of major beef muscles and muscle groups[J].Meat Science,2003,65(3):1013–1019.

[7] WOOD J D,ENSER M,FISHER A V,et al.Fat deposition,fatty acid composition and meat quality:a review[J].Meat Science,2008,78(4):343–358.

[8] 吴妍妍,张文举,胡猛,等.嗜酸乳杆菌生物饲料发酵参数的优化[J].黑龙江畜牧兽医,2013(7):81–84.

[9] 赵伟,陈鑫,刘红南,等.沙棘叶黄酮对肉鸡生长性能及胴体品质的影响[J].动物营养学报,2012,24(1):117–123.

[10] 李德发.猪的营养[M].2 版.北京:中国农业科学技术出版社,2003.

[11] GOERL K F,EILERT S J,MANDIGO R W,et al.Pork characteristics as affected by two

populations of swine and six crude protein levels[J].Journal of Animal Science,1995,73(12):3621–3626.

[12] 徐云华,魏海峰,田恩杰,等.不同微生物发酵饲料对鲁莱黑猪肉质及生产性能的影响[J].猪业科学,2011,28(5):116–117.

[13] 苗海明,高爱武,杨金丽,等.动物肌内脂肪沉积对肉嫩度影响的研究进展[J].中国农学通报,2012,28(11):51–54.

[14] 罗嘉,蒲强,余霞,等.猪肌内脂肪沉积机理研究进展[J].猪业科学,2014(10):114–116.

[15] SKAROVSKY C J,SAMS A R.Tenderness,moisture loss and post-mortem metabolism of broiler Pectoralis muscle from electrically stimulated and air chilled carcases[J].British Poultry Science,1999,40(5):622–625.

[16] 李菊,张日俊.益生素对肉仔鸡生长性能、屠体性状及肉品质的影响[J].动物营养学报,2007,19(4):372–378.

[17] 米春桃,王安琪,黄波,等.发酵饲料对育肥猪屠宰后肉品质的影响[J].饲料与畜牧,2015(9):29–34.

[18] 马青竹.多株益生菌复合饲料发酵剂的应用效果试验[J].饲料工业,2011,32(10):58–61.

[19] 张娜娜,曹洪战,李同洲,等.发酵饲料桑粉对育肥猪生长性能和猪肉品质的影响[J].中国兽医学报,2016,36(12):2166–2170.

[20] 黄金华,李泰佑,王士长,等.复合益生菌制剂对肉鸡生长性能、屠宰性能和肌肉品质的影响[J].畜牧与饲料科学,2014,35(5):30–33.

[21] CASTROMÁN G,DEL PUERTO M,RAMOS A,et al.Organic and conventional chicken meat produced in Uruguay:colour,pH,fatty acids composition and oxidative status[J].American Journal of Food and Nutrition,2013,1(2):12–21.

[22] 聂存喜,张文举,刘艳丰,等.酵母菌发酵棉粕对黄羽肉鸡肌肉主要脂肪酸组成的影响[J].中国家禽,2015,37(7):25–28.

[23] ENDO T,NAKANO M.Influence of a probiotic on productivity meat components,lipid metabolism,caecal flora and metabolites,and raising environment in broiler production[J].Journal of Animal Science,1999,70(4):207–218.

[24] 李敏,武进,张石蕊,等.微生物发酵饲料对育肥猪生长性能、胴体性能及肉质的影响[J].湖南饲料,2012(2):16–21.

[25] 马广,欧阳张智,廖秀冬,等.复合菌固态发酵全价饲料对猪胴体性状和肉品质的影响[C]//

中国畜牧兽医学会动物微生态学分会第十一次全国学术研讨会暨第五届会员代表大会论文集.重庆:中国畜牧兽医学会动物微生态学分会,2014:219.

[26] 苏晨曦,陈文强,邓百万,等.微生物活菌发酵饲料对青脚麻鸡肉中氨基酸与脂肪酸含量的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2015(11):132–134.

[27] LIN B S,LUO J,LI Y M,et al.Research on the effect of microbial fermentation feeds on slaughter performance and meat quality in pig with large-scale feeding[J].Agricultural Science and Technology,2016,17(10):2329–2331.

[28] BONI I,NURUL H,NORYATI I.Comparison of meat quality characteristics between young and spent quails[J].International Food Research Journal,2010,17(3):661–666.

[29] 汪以真,许梓荣,冯杰.甜菜碱对猪肉品质的影响及机理探讨[J].中国农业科学,2000,33(1):94–99.

[30] 曹特,蒋小松,徐亚欧.影响鸡肉风味的主要因素[J].西南民族大学学报:自然科学版,2005(S1):28–32.

[31] 曾茂茂,李伶俐,何志勇,等.甘氨酸对美拉德反应体系及产生肉香风味物质的影响[J].食品科学,2012,33(7):32–36.

[32] SUZUKI A,HOMMA N,FUKUDA A,et al.Effects of high pressure treatment on the flavour-related components in meat[J].Meat Science,1994,37(3):369–379.

[33] MASIC U,YEOMANS M R.Umami flavor enhances appetite but also increases satiety[J].American Journal of Clinical Nutrition,2014,100(2):532–538.

[34] 陈继兰.鸡肉肌苷酸和肌内脂肪含量遗传规律及相关候选基因的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2004:3–5.

[35] 吕永彪,李吕木,钱坤,等.发酵芝麻粕对肉鸭生长、血液生化指标和肉风味的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2015,43(1):37–44.

Effects of Cottonseed Meal Fermented by *Lactobacillus acidophilus* on Muscle Nutrients and Flavor Characteristics of Yellow-Feathered Broilers

WANG Yongqiang[1,2] ZHANG Xiaoyang[1] LIU Jiancheng[1,3] NIE Cunxi[1] ZHANG Fanfan[1]

JIANG Lixin[3] MA Guijun[3] ZHANG Wenju[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Shihezi University, Shihezi* 832000, *China;*

2. *College of Animal Science and Technology, Henan Institute of Science & Technolog*

y, Xinxiang 453003, *China;* 3. *Xinjiang Tiankang Animal Husbandry Biotechnology Co., Ltd. Biological Additive Branch, Urumqi* 830011, *China*）

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of cottonseed meal fermented by *Lactobacillus acidophilus* on muscle nutrients and flavor characteristics of yellow-feathered broilers. Three hundred and sixty 21-day-old healthy male yellow-feathered broilers with an average body weight of (449.66±6.01) g were randomly divided into 6 groups with 6 replicates per group and 10 broilers per replicate. Broilers in control groups (groups Ⅰ, Ⅲ and Ⅴ) were fed diets added 3%, 6% and 9% cottonseed meal, and broilers in experiment groups (groups Ⅱ, Ⅳ and Ⅵ) were fed diets added 3%, 6% and 9% fermented cottonseed meal, respectively. After 42 days of feeding, six broilers were selected randomly from each group for slaughter and sampling, and the contents of conventional nutrients, fatty acids, amino acids, inosinic acid in samples were measured and analyzed. The results showed as follows: 1) compared with the control groups, there were no significant difference in muscle conventional nutrients in experimental groups (P>0.05). 2) The linoleic acid (C18:2) content in muscle of group Ⅱ was significantly increased by 13.91% (P<0.05) compared with group Ⅰ. The linolenic acid (C18:3) content in muscle of group Ⅳ was significantly increased by 21.51% (P<0.05) compared with group Ⅲ. The polyunsaturated fatty acid content in muscle of groups Ⅱ and Ⅳ were significantly increased by 14.22% and 9.04% （P<0.05） compared with groups Ⅰ and Ⅲ, respectively. 3) Compared with group Ⅴ, the total amino acid content in muscle of group Ⅵ was significantly increased by 13.85%（P<0.05）; The flavor amino acid (FAA) content in muscle of groups Ⅳ and Ⅵ was significantly increased by 6.04% and 9.27% （P<0.05） compared with groups Ⅲ and Ⅴ, respectively. The FAA content in muscle in groups Ⅳ and Ⅵ was significantly increased by 5.55% and 5.39% (P<0.05) compared with group Ⅱ. 4) The inosinic acid content in muscle of group Ⅵ was significantly increased by 10.81% (P<0.05) compared with group Ⅴ. The results showed above indicate that the addition of fermented cottonseed meal can improve the muscle flavor characteristics of yellow-feather broilers, and it is better to add at 6% or 9% proportion.

Key words: *Lactobacillus acidophilus*; fermented cottonseed meal; nutrient; flavor; yellow-feathered broilers

*Corresponding author, professor, E-mail: zhangwj1022@sina.com (责任编辑　田艳明)